

IAP20 Rec'd PCT/PTO 24 JAN 2006

Verfahren zur Mikrozerspanung von metallischen Werkstoffen

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum verschleißarmen Mikrozerspanen von Werkstücken aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl, wobei ein Werkstück mit zumindest einer ein Diamantwerkzeug aufweisenden Zerspanungsvorrichtung, insbesondere einer Ultrapräzisionsdreh-, -fräs- oder -schleifmaschine mikrozerspanend

5 bearbeitet wird. Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Werkstück aus einem Metall der IV. - VIII. Nebengruppen oder einer Metalllegierung, insbesondere Stahl mit durch Mikrozerspanung bearbeiteter Oberfläche.

In der Mikrozerspanungstechnik werden im Stand der Technik hauptsächlich Werkstücke

10 aus Nichteisenmetallen bearbeitet. Dabei werden in der sogenannten Ultrapräzisionsbearbeitung Vorrichtungen mit Schneidwerkzeugen aus monokristallinem Diamant eingesetzt. Diamanten haben den Vorteil, dass sie eine hohe Wärmeleitfähigkeit, einen geringen Reibwert, vor allem aber eine extrem große Härte aufweisen, so dass es möglich ist, in Werkstücke aus Nichteisenmetallen mit diesen Diamanten relativ verschleißarm Oberflächenstrukturen mit Genauigkeiten im Mikrometer- und Submikrometerbereich einzu-

15 bringen, wobei sich die Oberflächenrauheiten bei der Mikrozerspanung im Bereich einiger Nanometer bewegen. Der Begriff „verschleißarm“ bezieht sich in diesem Zusammenhang auf das Schneidwerkzeug selbst, d. h. den Diamanten, dessen Abnutzung den gesamten Bearbeitungsprozess begrenzt.

20 Schon seit Anbeginn der Mikrozerspanungstechnik besteht das Bedürfnis, die Palette der bearbeitbaren Werkstoffe zu erweitern. Es besteht insbesondere das Bedürfnis, Stahl in all seinen Materialvariationen zu verwenden, um insbesondere die Härte, Verschleiß-, Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit legierter und unlegierter Stähle nutzen zu

25 können. Die Mikrozerspanung von Stahl bringt im Stand der Technik äußerst große Probleme mit sich, da die eingesetzten Diamantwerkzeuge bei der Bearbeitung von Stahl einem so hohen Verschleiß unterliegen, dass es unwirtschaftlich ist, die Oberflächen von Stahlwerkstücken durch Mikrozerspanung zu bearbeiten.

30 Der hohe Verschleiß des Diamantwerkzeugs hat neben der Härte des zu bearbeitenden Stahls vor allem die Ursache, dass auf Grund einer chemischen Reaktion beim Kontakt

des Diamanten mit im Stahl vorhandenem Eisen (oder Legierungselementen) die obersten Atomlagen des Diamanten in thermodynamisch stabiles, aber weiches Graphit umgewandelt werden.

- 5 Auf dem Gebiet der Mikrozerspanung wird seit Jahren intensiv geforscht, um die Problematik des hohen Verschleißes der eingesetzten Diamantwerkzeuge in den Griff zu bekommen. Dabei wurden verschiedene Ansätze verfolgt. Unter anderem wurde der Bewegung des Diamantwerkzeugs eine Ultraschallanregung überlagert, um die Kontaktzeit zwischen Diamant und zu zerspanendem Werkstück so kurz wie möglich zu halten.
- 10 Die verschiedenen Ansätze führten allerdings bisher noch nicht zu einem Durchbruch im Sinne einer verbreiteten technischen Anwendung.

- Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Mikrozerspanen von Werkstücken aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl anzugeben, bei dem
- 15 der Verschleiß des Diamantwerkzeugs gegenüber dem bisher im Stand der Technik bekannten Verfahren deutlich reduziert wird. Weiter ist es Aufgabe der Erfindung, Werkstücke aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl anzugeben, die mit einem verschleißarmen Mikrozerspanungsverfahren bearbeitet wurden.

- 20 Die erfindungsgemäße Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum verschleißarmen Mikrozerspanen von Werkstücken aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl, wobei ein Werkstück mit zumindest einer ein Diamantwerkzeug aufweisenden Zerspanungsvorrichtung, insbesondere einer Ultrapräzisionsdreh-, -fräs- oder -schleifmaschine mikrozerspanend bearbeitet wird, wobei das Werkstück vor dem Mikrozerspanen in einem
- 25 ersten Schritt einer thermochemischen Randschichtbehandlung unterworfen wird, und wobei in einem zweiten Schritt die thermochemisch behandelte Randzone des Werkstücks mit der Zerspanungsvorrichtung bearbeitet wird.

- Unter dem Begriff „Randzone“ des Werkstücks wird dabei der gesamte oberflächennahe
- 30 Bereich des Werkstücks verstanden, der durch thermochemische Verfahren beeinflussbar ist.

- Der Haupteffekt, d.h. die größte Verschleißreduktion wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dann erzielt, wenn die Tiefe von mit dem Diamantwerkzeug in das Werkstück
- 35 eingebrachten Schnitten geringer ist als die Dicke der thermochemisch behandelten

Randzonen, denn dann wird vollständig und ausschließlich in dieser Randzone gearbeitet. Das Diamantwerkzeug steht in diesem Fall nur mit dem behandelten Randzonenmaterial in Kontakt. Es liegt aber auch im Rahmen der Erfindung, mit dem Diamantwerkzeug etwas in den unbehandelten Bereich des Werkstücks vorzudringen, was allerdings auf
5 Kosten der erreichbaren Verschleißreduktion geht.

Es ist zur Zeit noch nicht abschließend geklärt, welche genauen mikrophysikalischen und chemischen Prozesse zur Senkung des Diamantverschleißes dem erfindungsgemäßen Verfahren zu Grunde liegen. Gemäß einem ersten Erklärungsmodell wird durch das
10 neuartige Verfahren in der zu bearbeitenden Randschicht die Affinität der in dieser Zone vorhandenen chemischen Elemente - üblicherweise das Eisen im Stahl - zu Diamant derart herabgesetzt, dass eine Graphitisierung des Diamanten bei der nachfolgenden Mikrozerspannung deutlich weniger auftritt als ohne die erfindungsgemäße thermochemische Behandlung. Infolge dessen wird der Verschleiß des Diamantwerkzeugs
15 deutlich reduziert. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist ein Schneidkantenverschleiß erzielbar, der mindestens zwei Größenordnungen geringer ist als bei der Bearbeitung eines nicht thermochemisch behandelten Werkstoffs.

Unter Mikrozerspannung sollen im Rahmen der Erfindung alle derartigen, auch konventionellen Bearbeitungsverfahren gefasst werden, deren Ergebniswerkstücke eine hohe Form-, Maß- und Oberflächenqualität besitzen. Insbesondere werden darunter spanende
20 Fertigungsverfahren wie beispielsweise Drehen, Fräsen oder Schleifen verstanden.

Das zu bearbeitende Werkstück kann dabei aus Übergangsmetallen der Nebengruppen
25 IV. - VIII., insbesondere Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium, Molybdän, Titan, Wolfram, Kobalt oder einer - auch durch Sintern hergestellten - Legierung auf Basis dieser Metalle bestehen. Sämtliche Stahlsorten, unter Umständen als Legierungen auf Basis dieser Metalle, sind ebenfalls eingeschlossen.

30 Was das Diamantwerkzeug angeht, das in der Zerspanungsvorrichtung eingesetzt wird, so weist dieses üblicherweise einen monokristallinen Diamanten als Schneidstoff auf. Alternativ kann als Schneidstoff auch polykristalliner Diamant oder eine mit Diamant beschichtete Trägerplatte - beispielsweise aus Hartmetall - verwendet werden. Darüber hinaus kann der Schneidstoff auch aus mono- oder polykristallinem CBN oder aus einer
35 mit CBN beschichteten Trägerplatte aufgebaut sein.

Mit der thermochemischen Randschichtbehandlung wird vorteilhafterweise insbesondere ein Element wie Stickstoff, Bor, Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel oder Sauerstoff oder eine Kombination dieser Elemente in die Werkstückrandzone eingebracht und zwar
5 üblicherweise durch ein Verfahren wie Nitrieren, Borieren, Nitrocaburieren, Carbunitrieren, Aufkohlen, Phosphatieren oder Oxidieren oder eine Kombination dieser Verfahren. Denkbar sind im Übrigen alle thermochemischen Verfahren, die zu dem erwünschten Ergebnis führen, nämlich den Verschleiß des Diamantwerkzeugs zu reduzieren.

10 Wenn die thermochemische Randschichtbehandlung Nitrieren ist, bieten sich Verfahren wie Gasnitrieren, Salzbadnitrieren, Plasmanitrieren oder Lasernitrieren an.

Für die anderen thermochemischen Verfahren bieten sich ebenfalls Prozesse unter Gasatmosphäre mit und ohne Plasmaunterstützung an, insbesondere das Plasmaauf-
15 kohlen oder Plasmaborieren.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird auch gelöst durch ein Werkstück aus einem Metall oder einer Metalllegierung, insbesondere Stahl, mit durch Mikrozerspanung bearbeiteter Oberfläche, wobei das Werkstück eine durch eine thermochemische Oberflächen-
20 behandlung wie Nitrieren, Borieren und dergleichen entstandene Randzone aufweist.

Wirtschaftlich besonders sinnvoll ist es, wenn das Werkstück ein Formwerkzeug für den optischen Formbau ist, insbesondere zur Produktion von asphärischen Optiken, optischen Komponenten mit Freiformflächen sowie Prismenarrays aus Kunststoff oder Glas. Gerade
25 im optischen Formbau wird angestrebt, Formwerkzeuge zur Herstellung von komplizierten Optiken aus widerstandfähigem Material wie Werkzeugstahl herzustellen. Dies war vor dieser Erfindung nur unter hohen Kosten möglich.

Das Werkstück kann aber auch eine mechanische Präzisionskomponente sein, insbesondere eine Lagerschale für Luftlager, ein Ventil Sitz für hochbeanspruchte hydraulische Stellglieder, ein hochbeanspruchtes Präzisionsführungselement, eine Lagerschale für hoch genaue Kugellager oder ein korrosionsbeständiger Metallspiegel. Die Erfindung ist
30 natürlich nicht auf diese aufgeführten Beispiele beschränkt.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der beigefügten Zeichnung sowie aus den beiliegenden Unteransprüchen.

5 Es zeigt dabei:

Fig. 1 eine Prinzipskizze eines Plandrehvorgangs eines thermochemisch behandelten Werkstücks.

10 Eine mikrozerspanende Bearbeitung von Werkstücken aus Stahl mit Diamantwerkzeugen ist im Stand der Technik üblicherweise auf Grund der Graphitisierung des Diamanten bei der Bearbeitung nicht möglich auf Grund des Verschleißes am Diamantwerkzeug. Um diesen Verschleiß zu reduzieren, wird das Werkstück aus Stahl vor der Bearbeitung nitriert.

15 Bei dem vorliegenden konkreten Ausführungsbeispiel wird in einem ersten Schritt ein Werkstück 1 - eine Ronde mit ca. 60 mm Durchmesser aus dem Stahlwerkstoff Ck45N - bei einer Temperatur von 550°C ca. fünf Stunden gasnitriert. Im Zuge des Gasnitrierens dringt Stickstoff in das Werkstück 1 ein, woraufhin dieses eine Randzone 2 nitrierten Stahlwerkstoffs ausbildet, die sich von der unbearbeiteten Oberfläche 3 des Werkstücks 1 in das Werkstück 1 hineinerstreckt.

20 An diese Randzone 2 grenzt eine unbehandelte Grundgefügezone 4 aus unverändertem Ck45N an, die durch das Gasnitrieren auf Grund ihrer Tiefe im Werkstück 1 nicht beeinflusst wurde.

In einem zweiten Schritt wird das Werkstück 1 plangedreht und eine Oberfläche 7 in optischer Qualität hergestellt. Schematisch dargestellt ist ein Teil 5 einer Ultrapräzisionsdrehmaschine mit Diamantschneide 6. Die Diamantschneide 6 dringt zur Bearbeitung der Oberfläche bzw. des Oberflächenbereichs des Werkstücks 1 in die thermochemisch behandelte Randschicht 2 des Werkstücks 1 ein.

Für die Diamantschneide 6 wird ein monokristalliner Diamant eingesetzt.

Mit anderen Worten kann die nitrierte Randschicht 2 mit deutlich reduziertem Verschleiß der Diamantschneide 6 bearbeitet werden, wobei auch Strukturen in optischer Oberflächenqualität in die Randschicht 2 eingearbeitet werden können.

- 5 Wie beim Nitrieren von Stahl bekannt ist, ist die Härte des Werkstücks 1 in der Randzone 2 höher als im inneren, unbehandelten Werkstückbereich, d.h. der Grundgefügezone 4. Damit sind die Eigenschaften, insbesondere Härte, Verschleißbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit nach dem Nitriervorgang im Bereich der Randschicht gegenüber dem Ausgangszustand verbessert.

10

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sind Rauheiten von bis zu $R_a \approx 10$ nm erreichbar. Durch manuelles Nachpolieren sinkt die Rauheit auf $R_a \approx 5$ nm.

15

Bezugszeichenliste

5

- 1 Werkstück
- 2 Randzone
- 3 unbearbeitete Oberfläche
- 4 Grundgefügezone
- 5 Teil einer Ultrapräzisionsdrehmaschine
- 6 Diamantschneide
- 7 Oberfläche optischer Qualität

Patentansprüche

1. Verfahren zum verschleißarmen Mikrozerspanen von Werkstücken aus metallischen Werkstoffen oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl, wobei ein Werkstück (1) mit zumindest einer ein Diamantwerkzeug (6) aufweisenden Zerspanungsvorrichtung (5), insbesondere einer Ultrapräzisionsdreh-, -fräs- oder -schleifmaschine mikrozerspanend
5 bearbeitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) vor der spanenden Bearbeitung in einem ersten Schritt einer thermochemischen Randschichtbehandlung unterworfen wird und dass in einem zweiten Schritt die thermochemisch behandelte Randzone (2) des Werkstücks (1) mit der Zerspanungsvorrichtung (5) bearbeitet wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) aus einem Metall der IV. - VIII. Nebengruppe, insbesondere Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium, Molybdän, Titan, Wolfram oder Kobalt oder einer insbesondere durch Sintern hergestellten Legierung auf Basis dieser Metalle besteht.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die thermochemische Oberflächenbehandlung zumindest Bor, Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel in die Werkstückrandzone (2) eingebracht werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die thermochemische Oberflächenbehandlung Nitrieren, Nitrocarburieren, Carbunitrieren, Borieren, Carburieren oder Oxidieren oder eine Kombination dieser Verfahren ist.
20
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das thermochemische Randzonenbehandlungsverfahren Gasnitrieren, Gascarbunitrieren, Badnitrieren, Plasmanitrieren oder Lasernitrieren ist.
25
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Tiefe von mit dem Diamantwerkzeug (6) in das Werkstück (1) eingebrachten Schnitten geringer ist als die Dicke der thermochemisch behandelten Randzone (2).

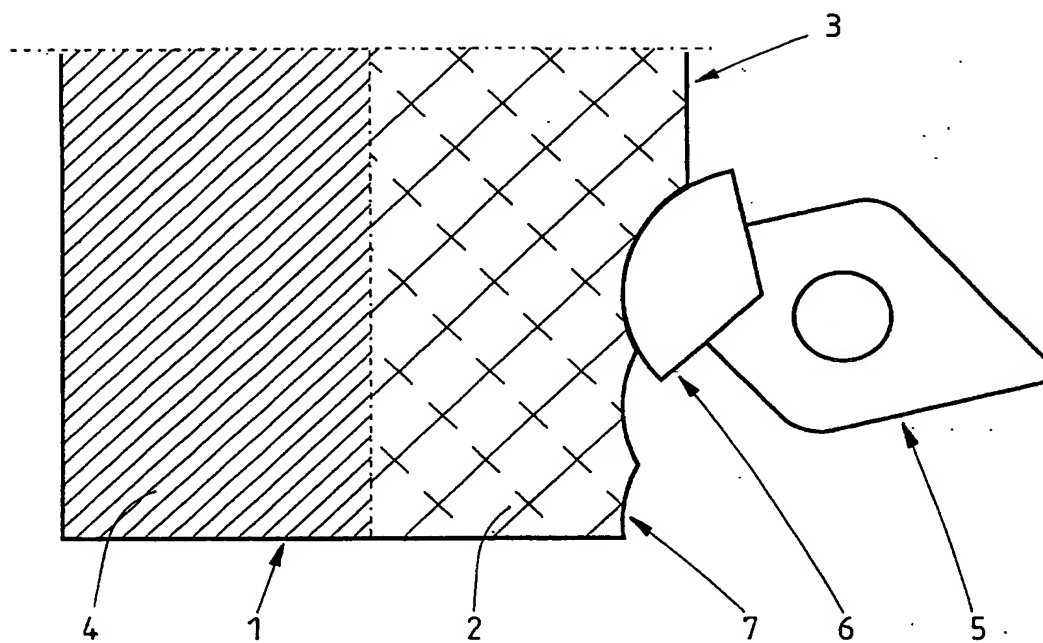
7. Werkstück aus einem Metall oder einer Metalllegierung, insbesondere Stahl, mit durch Mikrozerspanung bearbeiteter Oberfläche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) eine durch thermochemische Oberflächenbehandlung wie Nitrieren, Nitrocarburieren, Carbunitrieren, Borieren oder dergleichen entstandene Randzone (2) aufweist.
8. Werkstück nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) ein Formwerkzeug für den optischen Formenbau ist, insbesondere zur Produktion von asphärischen Optiken, optischen Komponenten mit Freiformflächen sowie Prismenarrays aus Kunststoff oder Glas.
9. Werkstück nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) eine mechanische Präzisionskomponente ist, insbesondere eine Lagerschale für Luftlager, ein Ventilsitz für hochbeanspruchte hydraulische Stellglieder, ein hochbeanspruchtes Präzisionsführungselement, eine Lagerschale für hochgenaue Kugellager oder ein korrosionsbeständiger Metallspiegel.
10. Werkstück nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) aus Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium, Molybdän, Titan, Wolfram, Kobalt oder einer insbesondere durch Sintern hergestellten Legierung auf Basis dieser Metalle besteht.
11. Werkstück nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) aus hochlegiertem Stahl besteht.

Zusammenfassung (in Verbindung mit der einzigen Figur)

Verfahren zum verschleißarmen Mikrozerspanen von Werkstücken aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl, wobei ein Werkstück (1) mit zumindest einer ein Diamantwerkzeug (6) aufweisenden Zerspanungsvorrichtung (5), insbesondere einer Ultrapräzisionsdreh-, -fräs- oder -schleifmaschine mikrozerspanend bearbeitet wird und
5 das Werkstück (1) vor dem Mikrozerspanen in einem ersten Schritt einer thermochemischen Randzonenbehandlung unterworfen wird und dass in einem zweiten Schritt die thermochemisch behandelte Randzone (2) des Werkstücks (1) mit der Zerspanungsvorrichtung (5) bearbeitet wird.

10

Fig. 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/006365

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 B23B1/00 C23C8/00 C23C8/26		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 B23B B23C C23C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, CHEM ABS Data, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DATABASE CA 'Online! CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE, COLUMBUS, OHIO, US; GRUBY, S. V. ET AL: "Investigation of precision surfaces after diamond micromachining" XP002318682 retrieved from STN Database accession no. 125:306436 abstract & VESTNIK MASHINOSTROENIYA , (7), 19-24 CODEN: VMASAV; ISSN: 0042-4633, 1996,	1,7
P,A	GB 2 384 734 A (* M J TECHNOLOGIES LIMITED) 6 August 2003 (2003-08-06)	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 22 February 2005		Date of mailing of the international search report 11/03/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Gregg, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/006365

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2384734	A	06-08-2003	NONE